

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

Mihael Dubovečak

Geologija i hidrogeologija priobalnih izvora na području Zadra

Završni rad

Varaždin, 2019

Sveučilište u Zagrebu

Geotehnički fakultet

Završni rad

Geologija i hidrogeologija priobalnih izvora na području Zadra

Kandidat: Mihael Dubovečak

Mentor:

Prof. dr.sc. Sanja Kapelj

Komentor:

Dr.sc. Jelena Loborec

Varaždin , 2019.



Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet



ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: MIHAEL DUBOVEČAK

Matični broj: 2542 - 2015./2016.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

GEOLOGIJA I HIDROGEOLOGIJA PRIOBALNIH IZVORA NA PODRUČJU ZADRA

Rad treba sadržati: 1. Uvod

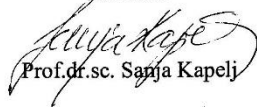
2. Teoretske osnove hidrogeologije priobalnih izvora u kršu
3. Geologija područja grada Zadra
4. Hidrogeologija područja grada Zadra
5. Kakvoća vode priobalnih izvora
6. Rasprava
7. Zaključak

Pristupnik je dužan predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

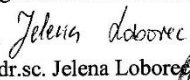
Zadatak zadan: 18.03.2019.

Rok predaje: 05.07.2019.

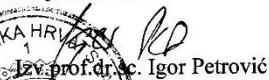
Mentor:


Prof. dr. sc. Sanja Kapelj

Drugi mentor/komentor:


Doc. dr. sc. Jelena Loborec

Predsjednik Odbora za nastavu:


Izv. prof. dr. sc. Igor Petrović



IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom
GEOLOGIJA I HIDROGEOLOGIJA PRIOBALNIH IZVORA NA PODRUČJU
ZADRA

(naslov završnog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom Prof. dr. sc. Sanja Kapelj i komentorstvom dr. sc. Jelena Loborec.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 5.7.2019

MIHAEL DUBOVEČAK

(Ime i prezime)

29987925821

(OIB)



(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

U ovom završnom radu izvršena je analiza priobalnih izvora na području Zadra s geološkog i hidrogeološkog aspekta. Budući da se izvori nalaze u krškom području navedene su teoretske osnove hidrogeologije priobalnih izvora u kršu. Geološke jedinice određene su normalnim, transgresivnim i pretpostavljenim granicama. Na području grada Zadra vidljiva je reverzna rasjedna zona široka oko 100 m dok rasjedi i pukotinski sustavi koji su okomito ili dijagonalno povezani s reverznim rasjedom nisu dobro vidljivi. Na području grada nalazi se niz priobalnih izvora veće ili manje izdašnosti. Njihova pojava ovisi o hidrološkim, klimatološkim i hidrogeološkim obilježjima. Stijene pripadajuće poroznosti i propusnosti imaju različitu hidrogeološku funkciju. U svrhu prostornog pregleda geoloških i hidrogeoloških čimbenika izrađena je shematska geološka i hidrogeološka karta. Hidrogeokemijska analiza najvažnijih izvora određuje geokemijski tip vode za pojedini izvor te je analiza pokazuje velik utjecaj mora na priobalne izvore područja. Piperov dijagram priobalnih izvora i prisutnost hranjivih soli dušika i fosfora u izvorima određuju kakvoću vode. U svrhu zaštite mora i priobalnih izvora važno je razmotriti antropogen utjecaj na iste. S obzirom na mnogobrojni negativni antropogeni utjecaji mogu negativno utjecati na izvore kao i prirodni faktori nužna je provedba adekvatnih mjera u svrhu očuvanja kvalitete izvora.

KLJUČNE RIJEČI: krš, priobalni izvori, utjecaj mora, Zadar

SADRŽAJ

1.UVOD	1
2. TEORETSKE OSNOVE HIDROGEOLOGIJE PRIOBALNIH IZVORA U KRŠU	3
2.1. OPĆENITO O HIDROGEOLOGIJI	3
2.2. OPĆENITO O KRŠU	3
2.3. PRIOBALNI IZVORI U KRŠU	4
3.GEOLOGIJA PODRUČJA GRADA ZADRA	7
3.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA GRADA ZADRA	7
3.2. GEOLOŠKE STRUKTURE NA PODRUČJU GRADA ZADRA	8
4. HIDROGEOLOGIJA PODRUČJA GRADA ZADRA	10
4.1. KLIMATSKA OBILJEŽJA	10
4.2. HIDROGEOLOGIJSKA FUNKCIJA STIJENA	10
5. KAKVOĆA VODE PRIOBALNIH IZVORA	13
5.1. KEMIJSKI SASTAV PODZEMNE VODE	13
5.2. PRIKAZIVANJE REZULTATA KEMIJSKE ANALIZE VODE	14
5.3. HIDROGEOKEMIJSKI FACIJES IZVORA NA PODRUČJU ZADRA	15
6. RASPRAVA	18
6.1. UTJECAJ MORA NA KAKVOĆU IZVORSKIH VODA	18
6.2. ANTROPOGENI UTJECAJI NA KAKVOĆU IZVORSKIH VODA	19
6.3. ANTROPOGENI UTJECAJ NA KAKVOĆU MORA	20
7. ZAKLJUČAK	21
8.LITERATURA	23

9. POPIS SLIKA	26
-----------------------------	-----------

1. UVOD

Grad Zadar je primorski grad te administrativno središte Zadarske županije. Nalazi se u sjevernoj Dalmaciji, a na listi najvećih gradova Hrvatske zauzima peto mjesto. Zajedno s prigradskim naseljima čini urbanu aglomeraciju. Dobar geografski položaj, mnoštvo prirodnih ljepota te smještaj uz Jadransko more glavni su faktori da grad Zadar slovi kao bogato turističko središte. Velik broj stanovnika na području grada Zadra te činjenica kako tijekom ljeta na samom području boravi broj turista koji višestruko premašuje broj stalnih stanovnika predstavlja velik izazov u zaštiti okoliša. Pritom se svakako ističe problematika vodnih resursa.

Klimatski čimbenici samog područja uvjetuju da područje grada Zadra prima najmanje oborina upravo tijekom ljeta. Geološke i hidrogeološke karakteristike područja dovode do činjenice kako se na području Zadra ne nalaze zamjetniji površinski tokovi niti je samo područje bogato izvorima. Uz nabrojene faktore na koje čovjek ne može utjecati tu su i negativni antropološki faktori. Korištenje raznih pesticida u poljoprivredi na ruralnom području (prema Ravnim kotarima), postojanje raznih industrijskih pogona u gradu, utjecaj cestovnog, pomorskog i zračnog prometa te stvaranje velikih količina otpada i otpadnih voda vrlo su velika opasnost za onečišćenje vodnih resursa. Uzimajući u obzir smještaj grada Zadra uz Jadransko more otvara se problematika utjecaja morske vode na vodonosnike pitke vode. Upravo je odnos slatke i slane vode važan faktor u osiguravanju dovoljnih količina pitke vode jer porast saliniteta smanjuje mogućnost korištenja vode za ljudsku upotrebu te iziskuje dodatna financijska ulaganja u proces desalinizacije.

Sve se češće spominje pojam „globalnog zatopljenja“ u kojem se ističe porast globalne temperature što bi posljedično dovelo do porasta mora diljem svijeta, a tako i Jadranskog mora. Navedeni utjecaj mogao bi u budućnosti predstavljati problem dijelovima Hrvatske obale.

Hrvatska je na 5. mjestu po bogatstvu vodnim resursima u Europi, a na 42. mjestu u svijetu. Važnost očuvanja vodnih resursa izrazito je važna.

Interdisciplinarni pristup u problematici vodnih resursa je neophodan. Provedba istraživanja i pravilna interpretacija podataka s terena nužna je kako bi se djelovalo pravodobno i pravilno. Stoga će se u ovom radu nastojati interpretirati podatke dobivene istraživanjima priobalnih izvora na području Zadra.

2. TEORETSKE OSNOVE HIDROGEOLOGIJE PRIOBALNIH IZVORA U KRŠU

2.1. OPĆENITO O HIDROGEOLOGIJI

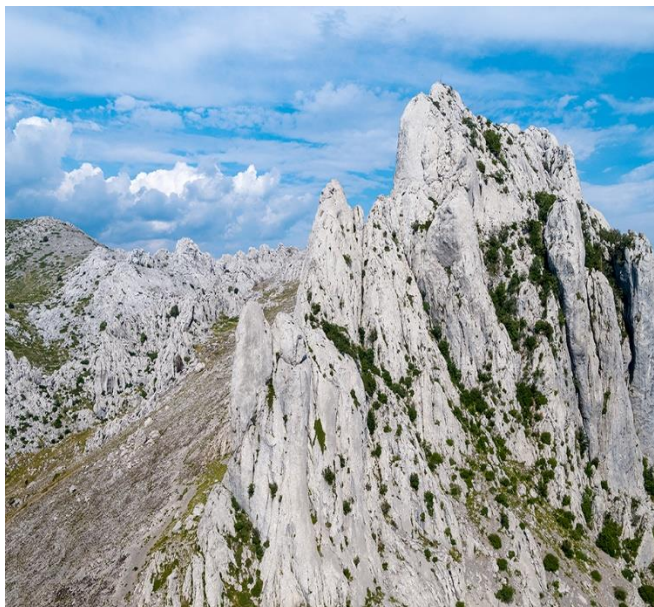
Hidrogeologija je znanstvena disciplina koja proučava porijeklo, kretanje, bilancu, režim i biološko-kemijsko djelovanje podzemnih voda. Dijeli se na hidrogeologiju nizinskih područja gdje prevladava međuzrnska odnosno primarna poroznost i hidrogeologiju krša gdje se pojavljuje sekundarna odnosno pukotinska poroznost. Podzemnu vodu opisujemo kao vodu koja se nalazi unutar geoloških oblika. Pritom je važno spomenute kako razlikujemo dvije zone unutar geoloških formacija s obzirom na ispunjenost pukotina. Unutar saturirane zone šupljine unutar formacija su ispunjene vodom i zrakom dok su u saturiranim zonama pukotine potpuno ispunjene vodom. Vodonosnik ili vodonosni sloj je stijena značajne propusnosti pogodna za uskladištenje podzemne vode. Važnost proučavanja podzemnih voda je velika stoga je važna provedba hidrogeoloških istraživanja. Navedena istraživanja koriste se za izradu hidrotehničkih objekata, zaštitu od poplava, vodoopskrbu za stanovništvo ili pak industrijska postrojenja, proučavanja termalnih i mineralnih voda i zaštitu voda.

2.2. OPĆENITO O KRŠU

Sinonim za hrvatsko priobalje je krš. Geološku građu krša pretežito čine okršene dolomitne i vapnenačke stijene. Zastupljenost Hrvatske krškim formama je više od 50 % stoga ne čudi kako je baš Hrvatska nerijetko sinonim za ovu vrstu reljefa.

Postoje mnoge definicije krša raznih priznatih hrvatskih geoloških znanstvenika. Tako je Milan Herak (1986.) iznio činjenicu kako je za krš (slika 1) karakteristično da su veze vode u podzemlju jače od onih nadzemnih i vezane su za šupljine različitih dimenzija koje se postupno proširuju zbog otapanja (korozijske) vapnenaca i dolomita. Krške forme sačinjavaju minerali dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), kalcita (CaCO_3) i magnezita (MgCO_3). Uz najčestalije minerale forme mogu sačinjavati i ostali minerali ali u manjoj mjeri (minerali oksida, hidroksida, sulfata,

fosfata itd.). U krškom reljefu česta je prisutnost podzemnih tokova i kaverni. Nerijetko je postojanje velikih krških izvora koji mogu biti stalni i povremeni. Prema (Herak&Stringfield,1972) postoje dva glavna tipa krša: geosinklinalni i epikontinentalni tip krš. Dinaridi su primjer geosinklinalnog krša koji se prostire u smjru SZ-JI.



Slika 1. Tulove grede – primjer krške forme (preuzeto www.prirodahrvatske.com/krs/, 23.4.2019.

2.3. PRIOBALNI IZVORI U KRŠU

Izvori su uglavnom vezani za stijene sekundarne odnosno pukotinske poroznosti, iako nisu isključeni ni u nagnutim međuzrnskim sistemima. To su mjesta istjecanja podzemne vode na površinu terena (B. Biondić, 2006). Klasificiraju se najčešće prema vrsti stijena i struktura, nastanku, načinu istjecanja, temperaturi, promjenjivosti izdašnosti itd. Osnovni podatak o izvoru je činjenica da li je on stalan tijekom cijele godine ili povremen. Stalne izvore koji su male izdašnosti obično vežemo uz rastresite naslage na flišu i takvi izvori su lokalnog karaktera. Važno je napomenuti kako je pojava velikih izvora vezana uz kontakt vodonepropusnih i vodopropusnih stijena. Poseban je slučaj pojava velikih krških izvora na obalama mora, gdje je istjecanje vezano uz djelovanje

mora (B. Biondić, 2006).Prema Bryanu dijele se na ulazne i gravitacijske. Ulazni se javljaju najčešće kod vulkanskih stijena i stijene u kojima njene pukotine sežu do velikih dubina. Izvori takve vode nerijetko su termalni. Gravitacijski izvori se formiraju jer dolazi do promjene hidrostatskih pritisaka. Jedan od najvažnijih faktora izvora je njegova količina istjecanja. Meinzer predlaže sljedeću klasifikaciju prema veličini (količini) istjecanja (slika 2).

I	10 m ³ /s i više
II	1 - 10 m ³ /s
III	0,1 - 1 m ³ /s
IV	10 - 100 l/s
V	1 - 10 l/s
VI	0,1 - 1 l/s
VII	0,01 - 0,1 l/s
VIII	manje od 0,01 l/s

Slika 2. Klasifikacija izvora prema veličina istjecanja (preuzeto iz B. Biondić, 2006)

U krškom području izbijanje vode iz krškog podzemlja nazive se vrelo (regionalni naziv vrilo). U kršu se odlikuju posebnošću vrela (slika 3) kod kojih kod obilnijih padalina istječe naglo velika količina vode dok pak kod sušnijih razdoblja ista mogu i presušiti. Taj tip vrela prema vrelu kod mjesta Vaucluse (Francuska) nazvan vokliško vrelo, a sve češće se upotrebljava termin krško vrelo jer je taj način izbijanja u skladu s podzemnim protjecanjem kroz pukotine, koje se događa brzo i s velikim kolebanjem (M. Matas, 2009).



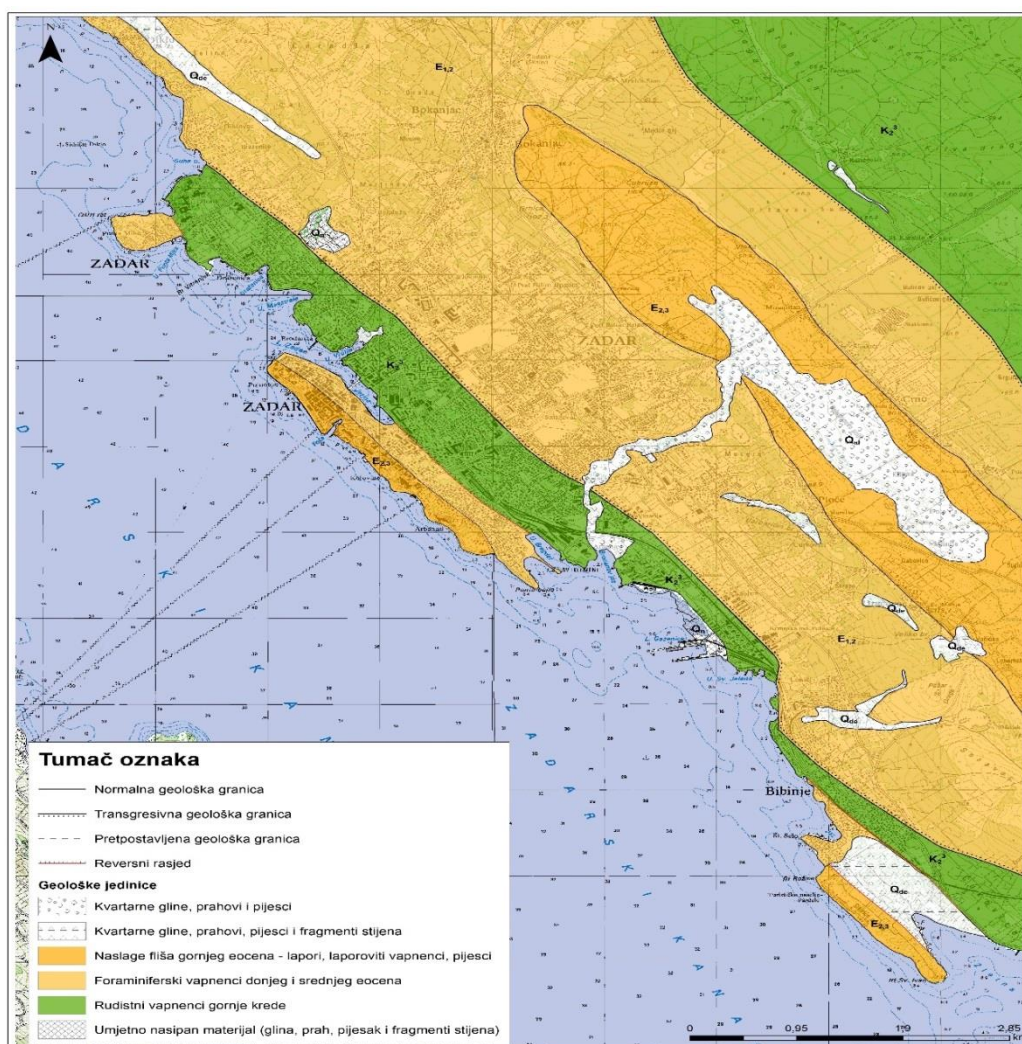
Slika 3. Vrelo ili vrilo Krupe (preuzeto s M. Matas, 2009)

Kad govorimo o priobalnim izvorima koji se nalaze u blizini mora moramo spomenuti poseban slučaj izvora slatke vode u slano more. Takav izvor naziva se vrulja. Takva podmorska vrela u krškom primorju javljaju se uz cijelu obalu ispred većih priobalnih uzvišenja koja u obalnim krškim vodonosnicima sadrže veliku količinu podzemne vode. Javljaju se podalje od kopna, a njihova snaga pa samim time i vidljivost ovisi o količini vode o zaleđu koja pak ovisi o količini oborine. Postojale su neke ideje o iskorištenju takvih izvora no njihova promjenjivost u izdašnosti i prevelik salinitet budući da se miješaju s velikom količinom slane vodom dosad nije dovelo do rezultata.

3. GEOLOGIJA PODRUČJA GRADA ZADRA

3.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE PODRUČJA GRADA ZADRA

Šire područje Zadra sastoji se od gornjokrednih karbonatnih stijena (turonskih vapnenaca K_2^2 ; dolomitnih i senonskih vapnencaca K_2^3), paleocena i donje eocenskih vapnenaca (Pc, E- laporoviti vapnenci; $E_{1,2}$ - vapnenci), srednjih i gornjih eocenskih klastičnih naslaga ($E_{2,3}$ - fliš) i razne vrste kvartarnih naslaga (aluvij, deluvij) (Majcen, Ž. & B. Korolija, 1970, 1973) (Kapelj et al, 2003) (Slika 4).



Slika 4. Shematska geološka karta područja grada Zadra (modificirano prema Kapelj et al, 2003.)

Granice geoloških jedinica uglavnom su paralelne i protežu se u smjeru sjeverozapad – jugoistok. Gološke jedinice poredene su redom od mora prema unutrašnjosti: naslage fliša gornjeg eocena (lapori, laporoviti vapnenci i pijesci), foraminiferski vapnenci donjeg i srednjeg eocena, rudistni vapnenci gornje krede, foraminiferski vapnenci donjeg i srednje eocena i naslage fliša gornjeg eocena te rudistni vapnenci gornje krede. Uz obalu se na mjestima nalazi umjetno nasipani materijal (glina, prahovi, pijesak i fragmentni stijena). Unutar navedenih geoloških jedinica nalaze se i površinom manje zastupljene geološke jedinice kvartarne gline, siltovi i pijesci čija je veća zastupljenost unutar geološke jedinice naslaga fliša gornjeg eocena u unutrašnjosti te kvartarne gline, pijesci, prahovi i fragmenti stijena.

Na mjestima promjene geoloških jedinica iscrtane su geološke granice. Osim normalnih geoloških granica postoje i transgresivne geološke granice u ovom primjeru granice foraminiferskih vapnenaca donjeg i srednjeg eocena te rudistnih vapnenaca gornje krede. Ukoliko se ne može odrediti granica geoloških jedinica ista se ucrtava kao pretpostavljena geološka granica.

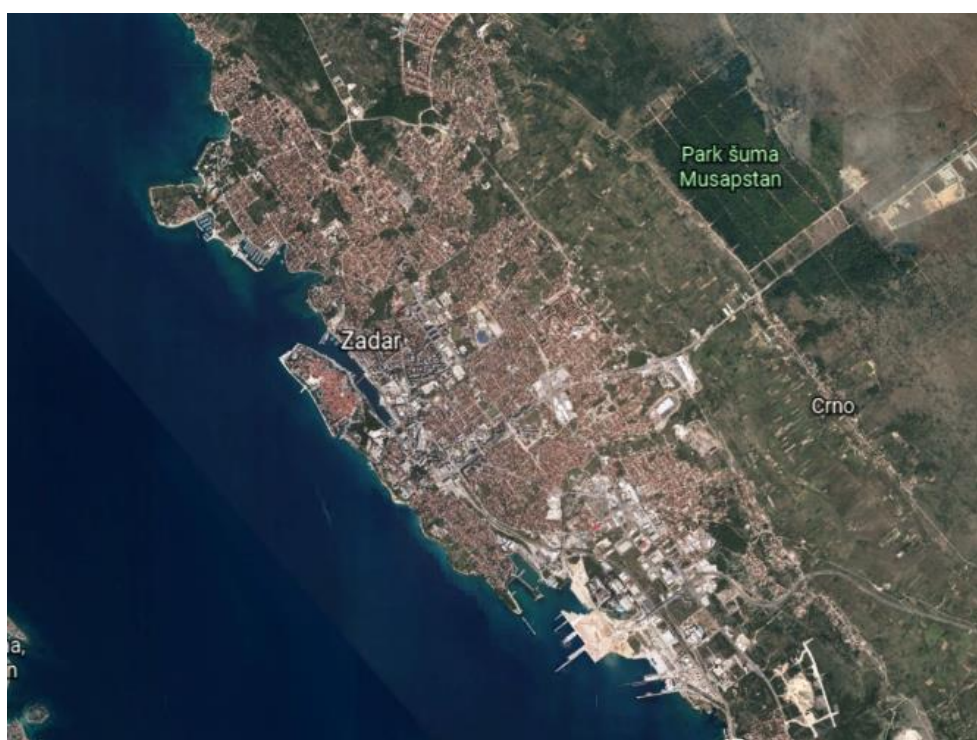
Kod normalnih rasjeda krovinsko se krilo po kliznoj plohi (paraklazi) spušta u odnosu na podinsko te većinom dolazi do širenja stijenske mase. Kod reverznih rasjeda podinsko se krilo spušta u odnosu na krovinsko pri čemu obično dolazi do koncentracije stijenske mase. Reverzni rasjedi zabilježeni su na području grada Zadra.

3.2. GEOLOŠKE STRUKTURE NA PODRUČJU GRADA ZADRA

Strukture su općenito vrlo jednostavne. Predstavljene su s antiklinalnim i sinklinalnim strukturama. Osi struktura imaju dinarsko pružanje od sjeverozapada prema jugoistoku. Važno je istaknuti da su nepropusne flišne naslage smještene u središnjem dijelu sinklinalnih struktura, a propusni kredni vapnenci izgrađuju antiklinalni dio terena. U cijeloj regiji najznačajnija je zadarska zona. To je reversna rasjedna zona široka oko 100 m i jasno vidljiva duž obale kao niz

paralelnih rasjeda i diskontinuiteta. Smjer pružanja ove zone rasjeda paralelan je sa smjerom struktura.

Zadarska rasjedna zona na ovom području ima funkciju kompresije, što je u prošlosti sprječavalo formiranje dubokog podzemnog okršavanja, a posljedično time i spriječilo nastanak dubljih tokova podzemne vode. Nedostatak podmorskih izvora – vrulja jugozapadno od zadarske zone potvrđuje ovaj zaključak. Rasjedi i pukotinski sustavi koji su okomito ili dijagonalno povezani s reverznim rasjedom nisu dobro vidljivi ni na površini zbog nekoliko razloga: urbanizacije, poljoprivredne djelatnosti, dobro razvijenog pokrova tla itd. (slika 5). Takvi rasjedi postoje, ali je pružanje struktura duž tih rasjeda zanemarivo i obično manje od 10 metara (Kapelj, J, 2002).



Slika 5. Satelitska slika područja grada Zadra
(preuzeto s Google Earth, 12.6.2019.)

4. HIDROGEOLOGIJA PODRUČJA GRADA ZADRA

4.1. KLIMATSKA OBILJEŽJA

Prema podacima iz klimatskog atlasa Republike Hrvatske (Zaninović et al, 2008) područje Zadra pripada sredozemnoj klimi sa suhim i vrućim ljetima. Klimu obilježavaju tri tipa:

- stabilno i lijepo vrijeme – ljeto i rana jesen,
- burno, suho i hladno vrijeme – hladnija polovica godine,
- jugo (ciklonalno i anticiklonalno) – hladnija polovica godine.

Srednja temperatura najhladnijeg mjeseca nije niža od -3°C , a najmanje jedan mjesec u godini ima srednju temperaturu višu od 10°C . Bitno klimatsko obilježje je postojanje pravilnog ritma izmjene godišnjih doba. U lokalnim okvirima značajnu ulogu igra široko ravničarsko zaleđe Grada, koje ublažava utjecaje nedalekog Velebita. Količina oborina kreće se od 90 do 280 mm godišnje po mjesecima (Kapelj et al, 2003).

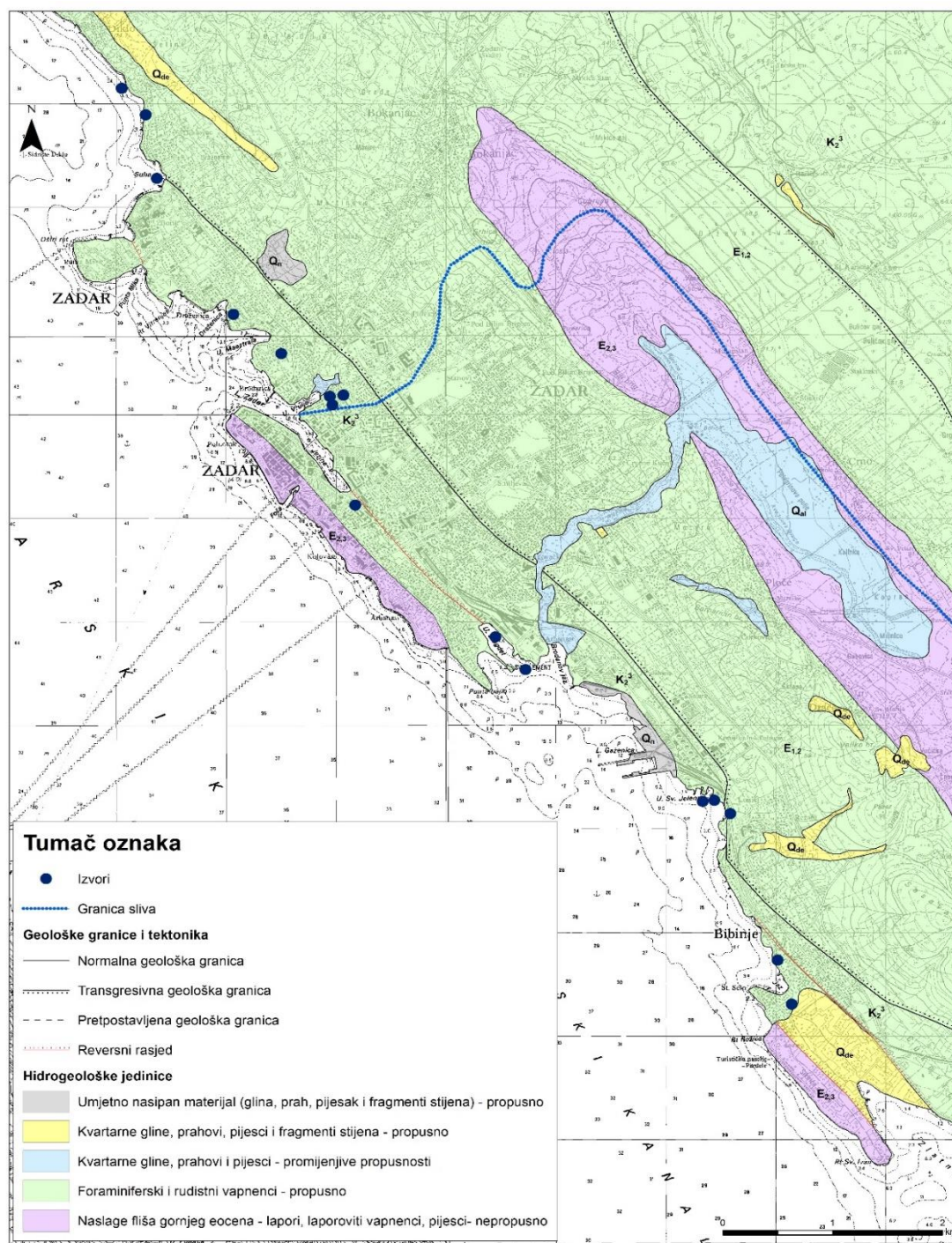
4.2. HIDROGEOLOGIJSKA FUNKCIJA STIJENA

Na području grada Zadra ustanovljene su stijene različitih tipova poroznosti i različitih propusnosti.

Razlomljene i raspucane stijene pukotinsko-disolucijske poroznosti su gornjo kredni vapnenci i oni su u hidrogeološkom smislu su dobro propusne naslage (K_2^3 i $E_{1,2}$). Ove stijene imaju sva svojstva klasičnih krških vodonosnika osim što su ti podzemni tokovi relativno plitki zbog strukturne kompresije koja je spomenuta u prethodnom poglavlju (Kapelj, 2002).

Slabo propusne stijene su dolomiti (K_2^2) i laporoviti vapnenci (Pc, E). Nepropusne naslage intergranularne poroznosti su pretežito klastične flišne naslage ($E_{2,3}$) i obično u krškim terenima Dinarida imaju funkciju barijera.

Kvartarne deluvijalne i aluvijalne naslage sastoje se od prašinsto - glinovitih materijala s odlomcima stijena te imaju intergranularnu poroznost i promjenjivu propusnost koja ovisi o pretežitom sastavu sedimenta, odnosno o raspodjeli veličine zrna - granulometriji (Kapelj et al, 2003) (Slika 6).



Slika 6. Shematska hidrogeološka karta područja grada Zadra (preuzeto iz Kapelj et al, 2003)

Na shematskoj hidrogeološkoj karti (Slika 5) plavom bojom označene su lokacije priobalnih izvora, a crvenom kopani zdenci i istražne bušotine.

Na području od Petrčana, preko Dikla, Zadra do Bibinja ističe se cijeli niz priobalnih izvora veće ili manje izdašnosti. Od izdašnijih izvora treba od sjevera prema istoku istaknuti izvornu zonu Vruljice u samom gradu pokraj Marine-Zadar, niz manjih izvora kod servisne stanice Crosco, izvor Sv. Jelene u luci Gaženica te priobalne izvore u Bibinju.

Kopani zdenci koji su bili dostupni nalaze se u fliškim naslagama, male su izdašnosti te se koriste samo za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Istražne bušotine su uglavnom nedostupne za motrenje ili zbog oštećenja ili su premalog promjera za uzorkovanje.

5. KAKVOĆA VODE PRIOBALNIH IZVORA

5.1. KEMIJSKI SASTAV PODZEMNE VODE

Kemijski sastav podzemne vode čine sve tvari koje se određuju kemijskim analizama. Pritom je važno spomenuti pojam mineralizacije koja nam pokazuje ukupnu količinu otopljenih mineralnih tvari u vodi. Dobiva se analizom suhog ostatka pri isparavanju vode na temperaturi od 110 °C. Mineralizacije vode varira od nekoliko mg/L do 200 g/L. U podzemnim vodama registrirano je preko 60 različitih elemenata s većim ili manjim udjelima.

Ukupnu količinu otopljenih tvari (TDS - eng. total dissolved solids) čine sve anorganske soli otopljene u vodi. Mjerna jedinica je mg/l. Glavninu otopljenih anorganskih soli u vodi čine anioni karbonata, hidrogenkarbonata, sulfata, nitrata i klorida te kationi kalcija, magnezija, kalija i natrija. Linearno je povezana s elektrolitičkom vodljivosti (EC) te se njihov odnos može aproksimirati kao $TDS = 0,66 EC$. Prema količini otopljenih tvari može se odrediti ukusnost vode za piće. TDS može potjecati i od onečišćenja, a na njegovu vrijednost također mogu utjecati i miješanje slatke i slane vode.

Tvrdoću vode (slika 7) čine sve kalcijske i magnezijske soli otopljene u vodi. Mjeri se u stupnjevima: francuskim, njemačkim i engleskim. Najčešće se u Hrvatskoj klasificira prema njemačkim stupnjevima. Drugi način izražavanja je u mg/L $CaCO_3$. Postoji karbonatna i nekarbonatna tvrdoća. Zajedno čine ukupnu tvrdoću tvari te ju sačinjavaju sve Mg i Ca soli u vodi. Karbonatnu tvrdoću čine Ca i Mg karbonati i hidrogenkarbonati dok nekarbonatnu čine Ca i Mg nitrati, sulfati i kloridi. Važno je klasificirati vodu prema tvrdoći zbog uporabe iste u različite svrhe. Tako se većinom samo meke vode koriste u industrijskim postrojenjima dok voda za piće može biti veće tvrdoće jer je ukusnija (B. Biondić, 2006).

Tvrdoća u njemačkim stupnjevima	Kvaliteta vode	Stijene (primjeri)
0-4	Vrlo mekana voda	Granit, porfir, bazalt
4-8	Mekana voda	Kristalinski škriljavac
8-12	Srednje tvrda voda	Bazalt
12-18	Prilično tvrda voda	Tvrđi kredni vapnenac
18-30	Tvrda voda	Mekane vapnenačke stijene
preko 30	Vrlo tvrda voda	Dolomit, lapori, gips

Slika 7. Tvrdoća vode u njemačkim stupnjevima (preuzeto iz skripte B. Biondić, 2006.)

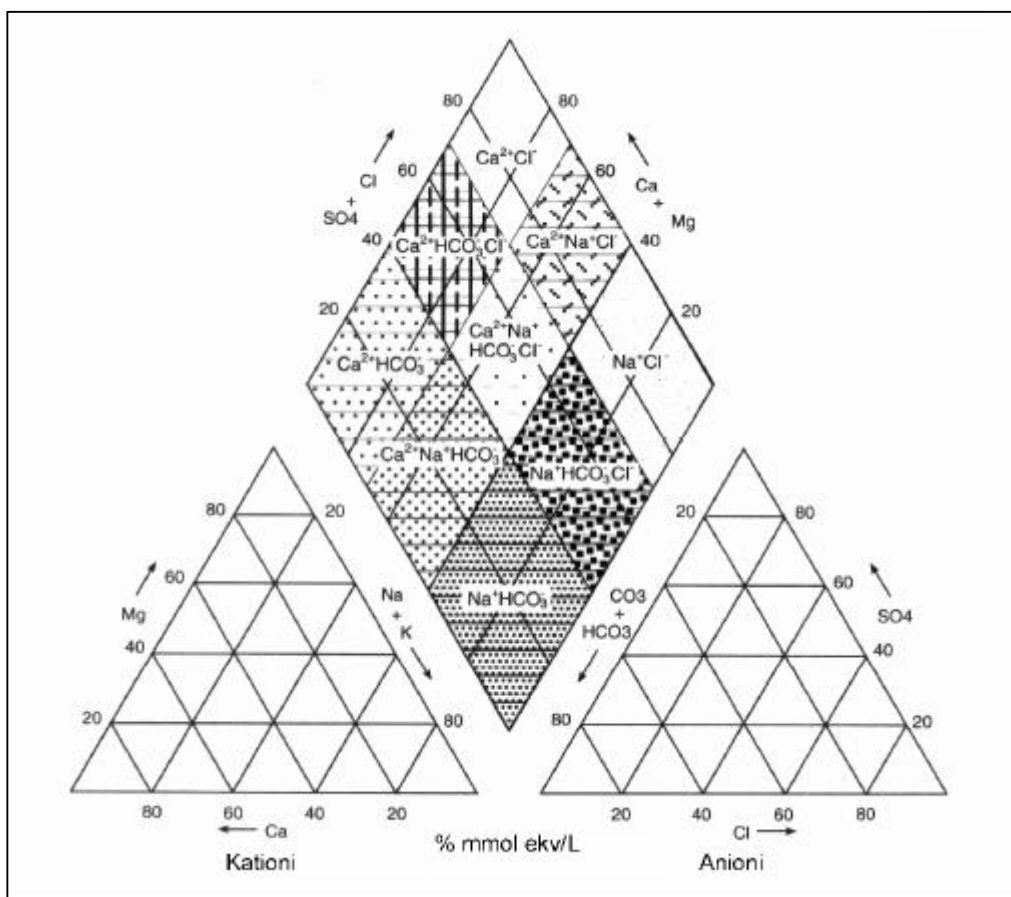
U priobalnim izvorima važan je utjecaj morske vode na kakvoću vode. Salinitet je svojstvo koje se izražava u promilima (‰) i raste s porastom udjela morske vode. Obično se ne navodi kada je voda pogodna za piće ukoliko je salinitet manji od 0,5 (‰). Povišeni salinitet može dovesti do oštećenja metalnih površina u vodovodnoj infrastrukturi.

5.2. PRIKAZIVANJE REZULTATA KEMIJSKE ANALIZE VODE

Rezultati kemijske analize osnovnih sastojaka vode prikazuju se obično u ionskoj formi. Praktična je primjena korištenja ravnoteže mase i naboja kod analize rezultata kada se sve koncentracije otopljenih glavnih iona prikazuju u milimolekvivalentima po litri (mmolekv/L). Time se izbjegavaju veće pogreške prilikom hidrogeokemijskih interpretacija jer su rezultati prikazani u obliku ekvivalentnih odnosa između pojedinih iona, odnosno kumulativno u postotnim udjelima mmolekv/L.

Rezultate analiza možemo prikazati tablično u različitim jedinicama koncentracije (brojčano) i grafički (dijagramima). Razne su grafičke metode prikazivanja ali najčešća je metoda prikaza pomoću Piperov dijagram (slika 8). Unosom postotnih udjela milimolekvivalenta osnovnih iona može se odrediti hidrogeokemijski facijes vode. U hidrogeokemiji voda se tipizira prema vodnim

facijesima, a njih određuju udjeli otopljenih kationa i aniona. Prema klasifikaciji Alekina vode se prema kationima dijele na kalcijske, magnezijske, natrijske i miješane dok se prema anionima dijele na hidrogenkarbonatne, sulfatne, kloridne i miješane.



Slika 8. Prikaz vodnih faciesa u rombu Piperovog dijagrama

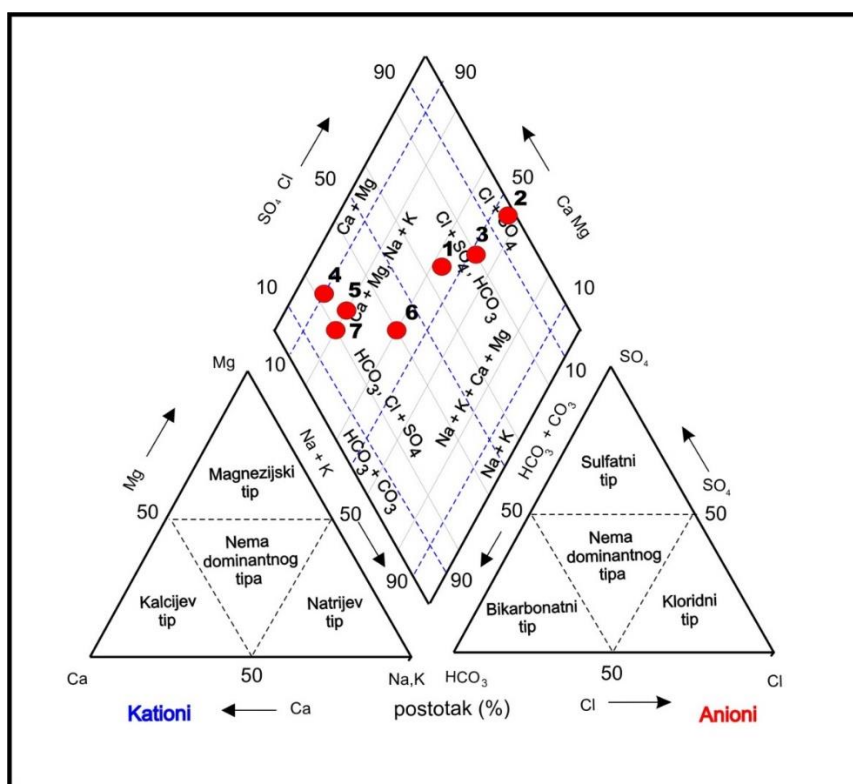
(Deutsch , 1997)

5.3. HIDROGEOKEMIJSKI FACIJES IZVORA NA PODRUČJU ZADRA

Na području grada Zadra izvršena je kemijska analiza vode na 4 izvora (Vruljica, Crosco, Sv. Jelena, Bokanjac), 2 kopana zdenca (Čatrnja i Dračevac) i jedne eksploatacijske bušotine na vodocrpilištu Bokanjac (B-4) s ciljem određivanja geokemijskog tipa vode. Izmjerena je koncentracija najvažnijih kationa (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ i Mg^{2+}) i aniona (HCO_3^- , SO_4^{2-} i Cl^-) u mg/L. Za potrebe

određivanja geokemijskog tipa vode prikazanog u Piperovom dijagramu navedene koncentracije su pretvorene u kumulativne postotke mmolekv/L pojedinih iona. Unošenjem kationa i aniona u pripadajuće trokute te ekstrapolacijom u romboedarsko polje Piperovog dijagrama dobiveno je 7 točaka od kojih svaka prikazuje hidrogeokemijski facies svakog pojedinog izvora (slika 9).

Analitički, za određivanje geokemijskog tipa vode relevantni su ioni čiji je udjel viši od 20%. Tako je voda na izvoru Bibinje kalcijskonatrijsko – kloridnohidrogenkarbonatna, na zdencima Čatrnja, Dračevac i iz bušotine na vodocrpilištu Bokanjac (B-4) kalcijsko – hidrogenkarbonatna, na izvoru kod servisne postaje Croscio natrijsko magnezijski – kloridna, na izvoru Sv. Jelena natrijsko kalcijsko magnezijsko – kloridna, a na izvoru Vruljice kalcijskomagnezijsko – hidrogenkarbonatnokloridnog tipa.



Slika 9. Piperov dijagram sastava priobalnih voda na području grada Zadra

(1. Bibinje; 2. Croscio; 3. Sv. Jelena; 4. Čatrnja; 5. Dračevac; 6. Vruljica; 7. Bokanjac)

Geokemijski tip vode na izvorima nam pokazuje kako je na većini priobalnih izvora izražen utjecaj mora odnosno doprinos Na^+ i Cl^- iona. Stoga voda s takvih izvora nije korištena za piće već se tradicijski koristila u druge svrhe npr. za pranje i ispiranje. Podzemna voda iz kopanih zdenaca dobre je kakvoće za navodnjavanje u poljodjelstvu (Čatrnja i Dračevac), a voda s vodocrpilišta u Bokanjcu prikladna je za vodoopskrbu.

Rezultati mjerenja koncentracije dušika i fosfora izmjerenim na spomenutim lokacijama (slika 10) prema „Pravilnik o parametrima sukladnosti, metodama analize, monitoringu i planovima sigurnosti vode za ljudsku potrošnju te načinu vođenja registra pravnih osoba koje obavljaju djelatnost javne vodoopskrbe (NN 125/2017)“ vrijednosti pokazuju da je dobre kakvoće jer ne prelaze maksimalnu dozvoljenu količinu Tako koncentracija nitrata na mjerenim lokacijama ne prelazi MDK od 50 mg/L NO_3^- , koncentracija nitrita ne prelazi MDK vrijednost od 0,5 mg/L NO_2^- , a koncentracija amonijaka ne prelaze MDK vrijednost od 0,5 mg/L NH_3 . Koncentracije fosfatnog iona i fosfora su male te zadovoljavaju navedeni kriterij o kakvoći vode.

R.Br	Naziv	NO_3^- -N	NO_2^- -N	NH_3 -N	PO_4^{3-} -P	P
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1.	BIBINJEa/6/03	6,30	0,05	0,01	0,12	0,33
3.	CROSCO/6/03	0,90	<0.01	<0.01	0,01	0,1
4.	SvJELENA/6/03	1,20	<0.01	<0.01	<0,01	0,03
19.	ČATRANJA/6/03	0,10	<0.01	<0.01	0,03	0,17
19.	ČATRANJA/8/03	3,30	<0.01	0,02	0,05	0,22
19.	ČATRANJA/11/03	4,30	0,01		0,03	0,10
19.	ČATRANJA/7/04	1,00	<0.01	<0.01	0,05	0,20
20.	DRAČEVAC/6/03	0,10	<0.01	<0.01	0,03	0,17
20.	DRAČEVAC/11/03	2,00	<0.01	<0.01	0,13	0,29
20.	DRAČEVAC/7/04	1,00	<0.01	<0.01	0,05	0,1
10.	VRULJICAa/6/03	2,60	<0.01	<0.01	0,1	0,24
10.	VRULJICAa/8/03	1,10	<0.01	<0.01	0,2	0,35
10.	VRULJICAa/11/03	3,90	<0.01	0,03	0,21	0,7
10.	VRULJICAa/7/04	2,50	<0.01	<0.01	0,15	0,22
	BOKANJAC/6/03	0,10	<0.01	<0.01	<0,01	0,02
	BOKANJAC/8/03	4,30	<0.01	0,02	0,02	0,02
16.	BOKANJAC/11/03	2,00	<0.01	<0.01	0,07	0,09
16.	BOKANJAC/7/04	1,00	<0.01	0,01	<0,01	0,02

Slika 10. Prisutnost hranjivih soli dušika i fosfora u izvorima (modificirano prema Kapelj et al, 2003.)

6. RASPRAVA

6.1. UTJECAJ MORA NA KAKVOĆU IZVORSKIH VODA

Budući da se u većini slučajeva krški izvori opskrbljuju vodom is krških vodonosnika važan je utjecaj mora na krške vodonosnike. Odnos slatke i slane vode kod krških područja aproksimira se Gyben Herzbergovim zakonom koji nam govori da 1m slatke vode iznad razine mora otprilike odgovara stupcu od 36 do 40m slatke vode ispod razine mora. Budući da stvarna situacija na terenu nije tako matematički lako opisana u istraživanjima se samo traži zona miješanja slatke i slane vode odnosno zona u kojoj dolazi do povećanja saliniteta. Debljina sloja miješanja slatke i slane vode ovisi o količini dotjecanja slatke vode iz kopnenog zaleđa te o propusnosti vodonosnika.

Postoje mnogi vanjski utjecaji koji mogu utjecati na odnos slatke i slane vode. Na neke, kao naprimjer meteorološke čimbenike ne možemo utjecati. Tako prilikom sušnijih perioda može doći do zaslanjenja priobalnih izvora budući da je tada doprinos slatke vode iz krških slivova manji. Morska voda prodire duboko u kopneno zaleđe te može doći do zaslanjenja izvora i do nekoliko kilometara od obale. No takve situacije nisu česte na području Sredozemlja.

Budući da su u krškom području većinom mjesta prirodnog izviranja vode izvori vodoopskrbe za stanovništvo nužno je odrediti moguće opcije u slučaju ekstremnih meteoroloških uvjeta koji su uslijed klimatskih promjena sve češći.

Promjena plime i oseke također utječe na salinitet izvorskih voda. Budući da Zadarsko područje kao i cijeli Jadran spadaju pod skupinu umjerenih morskih mijena te da razlika plime i oseke ne prelazi 1 m utjecaj morskih mijena nije značajan.

Osim faktora na koje ne možemo utjecati tu su i vanjski odnosno antropogeni utjecaji od kojih se najviše ističe crpljenje vode. Preeksploatacija slatke vode iz priobalnih izvora može dovesti do zaslanjenja takvih izvora. Stoga je važno racionalno korištenje vodnih resursa.

6.2. ANTROPOGENI UTJECAJI NA KAKVOĆU IZVORSKIH VODA

Čovjek svakodnevno utječe na okoliš, a time i na kakvoću izvorskih voda. U ruralnim dijelovima Zadarskog područja razvijena je poljoprivreda. Uporaba raznih umjetnih gnojiva može utjecati na kvalitetu podzemne vode. Utjecaj se može primijetiti povećanjem udjela nitrata iz dušičnih mineralnih gnojiva. Važno je analizirati prisutnost nitrata u podzemnoj vodi jer je dokazano da osobito štetno utječu na zdravlje djece, a neka istraživanja navode i činjenice o njihovoj kancerogenosti (Zebec i Senta, 2001).

U posljednjih 70 godina na području Grada Zadra aktivne su bile mnoge vrste industrija te je Grad bio vojno središte. Industrijski su objekti uglavnom smješteni na dvije lokacije: središte Grada i industrijska zona Gaženica koja se nalazi u jugoistočnom dijelu Grada. Svaki industrijski objekt imao je vlastito skladište nafte ili goriva. U razgovoru s nadležnim tijelima i stanovništvom dobiveni su podaci kako se u prošlosti trafo ulje, korišteno u radu transformatorskih stanica nepravilno zbrinjavalo odnosno na krškim terenima oko stanica (Kapelj et al, 2003).

Razvijeni cestovni i željeznički promet (osobito tijekom turističke sezone) predstavlja opasnost za okoliš, a samim time postoji i mogućnost za negativni utjecaj na izvore. Od značajnijih izvora zagađenja valja izdvojiti komunalni otpad. Brojni turisti koji borave na području Grada Zadra dovode do povećanog stvaranja otpada. Pritom je važno da se tijekom ljetnih mjeseci provedu dodatne mjere sakupljanja i adekvatnog zbrinjavanja otpada. Na navedenom području postoje kontrolirana, nekontrolirana i napuštena odlagališta otpada. Ostali potencijalni izvori zagađivanja su bolnica, vojna ustanova, benzinske postaje, aktivni i neaktivni kamenolomi i ostalo.

6.3. ANTROPOGENI UTJECAJ NA KAKVOĆU MORA

Velik broj turista tijekom ljetnih mjeseci dovodi do porasta otpadnih voda. Budući da je broj kućanstava koji je priključen na sustav javne odvodnje manji od onog spojenog na vodoopskrbni sustav postavlja se pitanje gdje završavaju iste. Prema saznanjima malen je postotak otpadnih voda koje uz mehaničku prolaze i biološku obradu. Sustav kanalizacije postoji uglavnom u starijim urbanim aglomeracijama, turističkim naseljima i općinskim središtima (Pucar et al, 2006).

Sustav kanalizacije je neadekvatan zbog starosti iste. Mnogi ispusti u more su također neadekvatni. U ruralnim područjima koja ne posjeduju kanalizacijsku mrežu odvodnja otpadne vode iz kućanstava najčešće je rješenja pomoću „crnih jama“ te rjeđe septičkih jama. Za razliku od septičkih jama čija funkcija uz pripadajuću kanalizacijsku mrežu je prihvatljiva za okoliš „crne jame“ su potencijalno opasne za krške vodonosnike budući da nemaju nepropusnu stijenku te se sadržaj procjeđuje u podzemlje. U slučaju crpljenja jama postupak se nerijetko ne izvodi adekvatno odnosno sadržaj može završiti direktno u moru ili pak u vodotocima (Pucar et al, 2006).

Sustav komunalne odvodnje postoji uglavnom u priobalnom području gdje se prikupljene otpadne vode kroz mješovitu kanalizacijsku mrežu (prikupljene komunalne, industrijske i oborinske vode) ispuštaju bilo izravno, bilo preko jednostavnih taložnica, kroz kraći ili dulji podmorski ispust u more (Pucar et al, 2006).

Osim otpadnih voda potencijalni izvor onečišćenja mora su i razna plovila. U gradu Zadaru nalazi se 7 luka sa preko 3.000 vezova za plovila.

Tijekom prošle 2018. godine odobrena su sredstva za EU projekt „Izgradnja integralnog sustava odvodnje aglomeracija Zadar i Petrčane“. Time bi se barem dijelom smanjio negativni utjecaj podzemnih voda na more i izvore.

7. ZAKLJUČAK

U današnje vrijeme sve se više diljem svijeta ističe problem kvalitete i količine vodnih resursa. Veći dio stanovnika Hrvatske konzumira vodu visoke kakvoće, a Hrvatska je i među vodećim zemljama po količini vode. Područje Zadra, kao i veći dio hrvatskog priobalja vodu za piće crpi iz zaleđa odnosno većinom iz planinskih područja udaljenijih od mora budući da priobalni izvori kakvoćom većinom ne zadovoljavaju potrebnim kriterijima za korištenje iste za piće.

Geološke i hidrološke karakteristike područja grada Zadra uvjetuju da su izvori na navedenom području slabog kapaciteta i podložni utjecaju mora. Provedenim istraživanjima otkriveno je 12 izvora, a tek se izvor Vruljica ističe s nešto većim kapacitetom. Koncentracije glavnih iona izmjerene na spomenutim lokacijama pokazuju nam da je kod većine prevladavajuća koncentracija Cl^- i Na^+ iona. Navedeni podaci dokazuju nam proces intruzije morske vode u priobalne izvore. Klimatske i hidrološke prilike i sve češći ekstremi samo pojačavaju negativni utjecaj mora na izvore.

Iako se izvori ne ističu kvantitetom i kvalitetom njihova zaštita od važnog je značaja. Voda iz navedenih izvora može se koristiti u razne namjene i time očuvati korištenje kvalitetnije vode odnosno vode za piće. Potrebe su velike jer osim razvijenog turizma područja grada Zadra ima razvijenu industriju i poljoprivredu koje zahtijevaju dodatne potrebe za vodnim resursima. Iako na prirodne elemente čovjek ne može utjecati, navedene djelatnosti su potencijalno najveća prijetnja za onečišćenje izvora.

Dosad provedena istraživanja trebala bi se nastaviti te biti opsežnija kako bi se na vrijeme djelovalo u zaštiti resursa. Nadležna tijela trebala bi ulagati te uz suradnju nadležnim službi pridonijeti zaštiti istih. Racionalno korištenje vodnih resursa osobito u ljetnom periodu, uklanjanje dotrajalih i za okoliš opasnih materijala, kvalitetno pročišćavanje otpadnih voda te izbjegavanje korištenja pesticida te optimalizacija korištenja mineralnih gnojiva trebale bi biti osnovne mjere u zaštiti okoliša, a samim time i izvora. Poželjno bi bilo razmišljanje o budućoj pripremi projekata koji bi osiguravali dodatne resurse pitke vode u

priobalnim područjima Zadra budući da potrebe za vodnim resursima rastu iz dana u dan.

8. LITERATURA

Biondić, B. (2006): Hidrogeologija , Geotehnički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, e-skripta

Biondić, B.; Biondić, R. (2014): *Hidrogeologija Dinarskog krša u Hrvatskoj*. Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, Denona, 341 str..

Biondić, Božidar; Biondić, Ranko; Kapelj, Sanja (2005): [The sea water influence on karstic aquifers in Croatia](#). COST Environment 621 Action: Groundwater management of coastal karstic aquifers. Final report / Tulipano, Luigi (ur.).Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 303-311. (ISBN 92-898-0002-X).

Biondić, B., Biondić, R., Kapelj, S. (2000) :Problem utjecaja mora na krške vodonosnike u Hrvatskoj (2000): 2. HRVATSKI GEOLOŠKI KONGRES, Cavtat 17-20.svibanj 2000, *Zbornik radova*,, 531-538, Zagreb.

Buljan, M. (1962): Nova geokemijska metoda za razlikovanje prirodnih voda Institut za oceanografiju i ribarstvo, Croatica Chemica Acta, Vol. 34 No. 1, 1962. Split,

Dadić, Ž. Priručnik o temeljnoj kakvoći vode u Hrvatskoj, Zagreb: Hrvatski zavod za javno zdravstvo, 2003 , str 88. (ISBN 953-7031-02-0)

Deutsch, W.J. (1997): Groundwater Geochemistry – Fundamentals and Application to Contamination.Lewis Publishers

Fritz, F. (1976): Hidrogeološka studija Ravni Kotari – Bukovica. Professional study, Institute of Geology – Zagreb, No. 112/76. („ Hydrogeological study of Ravni Kotari – Bukovica“)

Fritz, F., Pavičić, A., Renić, A. (1994): Crpilišta zadarskog vodovoda – hidrogeološki istražni radovi za prijedlog zona sanitarne zaštite. Professional study, Institute of Geology – Zagreb, no 70/94. („ Water supply stations of Zadar town – hydrogeology study for sanitary protection zone“)

Herak, M. (1986): A New Concept of Geotectonics of the Dinarides. Acta Geologica, 16/1, JAZU, Prirodoslovna istraživanja, 53, p. 1-42, Zagreb.

Kapelj, J. (2002): Strukturni sklop šireg područja Promine u sjevernoj Dalmaciji i odraz na hidrogeološke odnose. Doktorska disertacija, Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb, 108 p. (The regional structural framework of the Northern Dalmatia and its effect on hydrogeologic relationships)

Kapelj, S., Kapelj, J., Biondić, R., Singer, D. (2003): 1. Annual hydrogeological report for WP2 "The level and hydrogeological fate of some POPs in several Croatian, Bosnian and Herzegovina and Kosovo areas as a consequence of war damages" - pilot area Zadar town, Institute of Geology – Zagreb

Kapelj, S., Lambrakis, N., Morell, I., Petalas, C. (2005): Sources of aquifer salinisation COST Action 621 "Groundwater management of coastal karstic aquifers" / Tulipano, L.; Fidelibus, D.; Panagopoulos, A. (ur.). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, (2005), 154-159. (ISBN 92-894-6416-X).

Kapelj, S. (2004): [Selected Coastal Karst Aquifers \(Croatia\): Vrana Lake, Vis Island](#) // The main coastal karstic aquifers of southern Europe: a contribution by members of the COST-621 Action 'Groundwater management of coastal karstic aquifers' (EUR 20911) / Calafora, Jose M. (ur.). Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities 37, 41. (ISBN 92-894-6413-5).

Majcen, Ž. & B. Korolija (1970): Osnovna geološka karta M 1:100 000, list Zadar, Professional report, Institute of Geology - Zagreb. ("Basic geological map of Croatia, scale 1: 100 000, sheet Zadar")

Majcen, Ž. & B. Korolija (1973): Tumač osnovne geološke karte M 1:100 000, list Zadar, Professional report, Institute of Geology - Zagreb. ("Guidebook of the Basic geological map of Croatia, scale 1: 100 000, sheet Zadar")

Matas, M. (2009): Krš Hrvatske : geografski pregled i značenje, Zagreb: Geografsko društvo - Split, 2009 (monografija), str 264 (ISBN 978-953-98996-9-9)

Pucar, B., Dmitrović, Z., Šangulin, J., Matek Šarić, M., Eleršek, N., Babin, A. (2006): Program praćenja stanja okoliša i onečišćenja obalnog i morskog područja otpadnim vodama na području Zadarske županije, Zavod za javno zdravstvo Zadar, Zadar

Toševski, A., Grgec, D., Padovan, B. (2012) :Osnovno o genezi, sastavu i trošenju eocenskog fliša Hrvatskog obalnog pojasa. Rudarsko-geološko-naftni zbornik. Zagreb, 2012. vol.25, str 47-62

ZADRA - Razvojna agencija zadarske županije (2013): Strategija razvoja grada Zadra. On line dostupno na: <http://www.grad-zadar.hr/repos/doc/Strategija%20razvoja%20grada%20Zadra.pdf> (21.6.2019.)

Zaninović K., Gajić - Čapka, M., Perčec Tadić, M. Vučetić, M., Milković, J., Bajić, A., ... & Likso, T., (2008): Klimatski atlas Hrvatske / Climate atlas of Croatia 1961-1990, 1971-2000., Zagreb, Državni hidrometeorološki zavod (DHMZ), pp 200.

Zavod za javno zdravstvo zadarske županije - ZZJZZŽ (2006): Program praćenja stanja okoliša i onečišćenja obalnog i morskog područja otpadnim vodama na području Zadarske županije. On line dostupno na: https://www.zadarska-zupanija.hr/images/dokumenti/5_Program_pracenja_stanja_okolisa_i_onecisce_nja_otpadnim_vodama_Zz.pdf (21.6.2019.)

9. POPIS SLIKA

Slika 1. Tulove grede	Stranica 4.
Slika 2. Klasifikacija izvora prema veličini istjecanja	Stranica 5.
Slika 3. Vrelo ili vrilo Krupe	Stranica 6.
Slika 4. Shematska geološka karta područja grada Zadra	Stranica 7.
Slika 5. Satelitska slika područja grada Zadra	Stranica 9.
Slika 6. Shematska hidrogeološka karta područja grada Zadra	Stranica 11.
Slika 7. Tvrdća vode u njemačkim stupnjevima	Stranica 14.
Slika 8. Prikaz vodnih faciesa u rombu Piperovog dijagrama	Stranica 15.
Slika 9. Piperov dijagram sastava priobalnih voda na području grada Zadra	Stranica 16
Slika 10. Prisutnost hranjivih soli dušika i fosfora u izvorima	Stranica 17.